

PENGARUH PENGAIRAN, PEMUPUKAN, DAN PENGHAMBAT NITRIFIKASI TERHADAP EMISI GAS RUMAH KACA DI LAHAN SAWAH TANAH MINERAL

EFFECT OF IRRIGATION, FERTILIZATION, AND NITRIFICATION INHIBITOR ON GREENHOUSE GASES EMISSION AT RICE FIELD OF MINERAL SOILS

R. Kartikawati dan D. Nursyamsi

(Diterima tanggal 01-04-2013; Disetujui tanggal 01-08-2013)

ABSTRAK

Pengairan dan pemupukan merupakan dua faktor yang sangat penting dalam mempengaruhi hasil padi serta proses pembentukan gas rumah kaca (CH_4 dan N_2O) di lahan sawah tanah mineral. Penelitian yang bertujuan untuk mempelajari pengaruh pengairan, pemupukan, dan penghambat nitrifikasi (NI) terhadap emisi gas rumah kaca di lahan sawah tanah mineral telah dilaksanakan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jakenan pada MK 2011. Perlakuan menggunakan rancangan petak terbagi dalam rancangan acak kelompok dan ulangan 3 kali. Petak utama adalah pengelolaan air, yaitu: pengairan terus-menerus (I1) dan pengairan terputus (I2), sedangkan anak petak adalah pemupukan, yaitu: kontrol (P1), NPK 25% (P2), NPK 50% (P3), NPK 75% (P4), NPK 100% (P5) dan NPK 100% + NI (P6). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengairan terputus mampu menekan emisi CH_4 sebesar 60% sehingga Global Warming Potential (GWP) juga menurun, tidak berpengaruh nyata terhadap hasil gabah, dan meningkatkan indeks emisi 34%. Pemupukan NPK meningkatkan emisi CH_4 181% dan N_2O 7%, meningkatkan hasil gabah 116%, dan indeks emisi 29%. Penggunaan NI menurunkan emisi N_2O 21%, tidak berpengaruh nyata terhadap hasil gabah, dan meningkatkan indeks emisi 29%. Berdasarkan data tersebut maka pengairan terputus yang dikombinasikan dengan NPK 100%+NI merupakan teknologi mitigasi terbaik dalam meningkatkan hasil padi dan menurunkan emisi GRK di lahan sawah tanah mineral.

Kata kunci: emisi gas rumah kaca, lahan sawah, pengairan, pemupukan, tanah mineral

ABSTRACT

Irrigation and fertilization are two very important factors in affecting rice yield and process of forming greenhouse gases (CH_4 and N_2O) in rice fields of mineral soil. The research aimed to study effect of irrigation, fertilization, and nitrification inhibitors (NI) on greenhouse gases emission at the rice fields of mineral soil was held in research station of Indonesian Agricultural Environmental Research Institute, Jakenan at DS 2011. Treatment used split plot design in a randomized completely block design and repeated 3 times. The main plot was water management, namely: continuous irrigation (I1) and intermittent irrigation (I2), while the subplot was fertilization, namely: control (P1), NPK 25% (P2), NPK 50% (P3), NPK 75% (P4), NPK 100% (P5) and NPK 100% + NI (P6). The results showed that the intermittent irrigation could reduce CH_4 emissions by 60% so global warming potential (GWP) also declined, did not significantly affect grain yield, and improved emission index by 34%. NPK fertilization increased CH_4 emissions by 181% and N_2O by 7%, increased grain yield by 116%, and emission index by 29%. Use of NI decreased N_2O emissions by 21%, did not significantly affect grain yield, and increased emission index by 29%. Based on the results, the intermittent irrigation combined with NPK 100% + NI was the best mitigation technologies to improve rice yields and reduce GHG emissions in rice fields of mineral soils.

Key words: greenhouse gas emission, rice field, irrigation, fertilization, mineral soils

¹ R. Kartikawati, Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jl. Raya Jakenan-Jaken Km 05, PO Box 05, Pati 59182, Jateng.
Email : rhe21ap@yahoo.com,

² D. Nursyamsi, Balai Penelitian Pertanian Lahan Rawa. Jl. Kebun Karet, Loktabat Utara, Banjarbaru 70712, Kalsel.
Email: ddnursyamsi@yahoo.com

PENDAHULUAN

Sektor pertanian mempunyai peran yang sangat besar dalam mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) karena dapat menyerap gas CO₂ dari atmosfer melalui proses fotosintesis. Namun demikian menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2009), sektor pertanian memberikan kontribusi GRK nasional sebesar 13.6 % tanpa memperhitungkan perubahan tataguna lahan dan hutan (*Land Use Change and Forestry* = LUCF) atau sebesar 6% dengan memperhitungkan LUCF. Selanjutnya dalam sektor pertanian, ternyata subsektor padi sawah dan peternakan merupakan kontributor utama masing-masing sebesar 70% dan 29.9%. Dengan demikian maka mitigasi GRK di lahan sawah seyogyanya menjadi perhatian utama dalam reduksi emisi GRK dari sektor pertanian. Teknologi penurunan emisi GRK di lahan sawah tidak boleh mengganggu produksi pangan nasional sehingga teknologi yang dikembangkan adalah teknologi yang dapat meningkatkan produksi dan menurunkan emisi GRK atau setidaknya produksi tetap dan emisi GRK turun

Penerapan beberapa sistem pengelolaan tanah dan tanaman yang tepat di lahan sawah, seperti: penggunaan varietas unggul umur genjah, pengairan, pemupukan, ameliorasi, dan lain-lain selain ditujukan untuk meningkatkan produksi padi, juga diharapkan dapat mengurangi emisi GRK yang dikeluarkan dari lahan pertanian. Tanaman padi mempunyai peran yang penting dalam upaya mitigasi emisi GRK di lahan sawah karena tanaman padi menjadi perantara pelepasan gas CH₄ melalui aerenkima.

Pemupukan dan pengairan adalah dua faktor yang paling penting dari beberapa faktor yang langsung berpengaruh terhadap proses nitrifikasi dan denitrifikasi dalam tanah. Kedua proses tersebut menghasilkan emisi GRK dalam bentuk N₂O dan gas lainnya seperti NO dan N₂. Namun demikian efek kombinasi dari pemupukan dan pengairan terhadap emisi GRK hingga saat ini belum banyak dievaluasi.

Distribusi dan jumlah air yang masuk ke lahan sawah akan berpengaruh langsung terhadap proses denitrifikasi, Martin *et al*¹ karena hal tersebut menentukan kondisi tanah apakah dalam keadaan aerob atau anaerob. Kondisi tanah anaerob (tergenang) yang diikuti oleh aerob (drainase) dapat menurunkan emisi CH₄ tapi meningkatkan emisi N₂O. Pengelolaan pupuk N (urea dan atau pupuk kandang) yang baik berperan penting dalam meminimalisir kehilangan N dalam tanah baik melalui pencucian, penguapan, maupun emisi N₂O, Snyder *et al*². Sebaliknya pemberian pupuk N dalam jumlah berlebihan atau pengelolaanya tidak tepat, selain merupakan pemborosan, juga dapat mencemari lingkungan perairan dengan nitrat dan meningkatkan emisi N₂O ke atmosfer.

Tanaman biasanya menyerap N dalam bentuk kation NH₄⁺ dan atau anion NO₃⁻, dimana kedua ion tersebut masing-masing merupakan hasil dari proses amonifikasi dan nitrifikasi, Havlin *et al*³. Di dalam tanah, bentuk pertama lebih stabil dibandingkan bentuk kedua karena kation tersebut dapat dijerap atau diikat oleh permukaan koloid tanah yang bermuatan negatif. Bentuk kedua, selain mudah hilang karena tercuci juga hilang menguap

ke atmosfer melalui proses denitrifikasi menghasilkan gas N_2O , NO , dan N_2 .

Proses nitrifikasi yang menghasilkan nitrat dan berlangsung secara alamiah sebenarnya diperlukan oleh tanaman. Namun demikian bila proses tersebut berlangsung lebih cepat daripada serapan nitrat oleh tanaman maka nitrat tersebut akan hilang dari zone perakaran dan mencemari lingkungan perairan. Selain itu nitrat juga akan mengalami denitrifikasi dan menghasilkan gas N_2O yang dilepaskan ke udara. Akibat proses tersebut maka efisiensi pupuk N di lahan sawah masih rendah, yaitu sekitar 20-30%, Fageria⁴.

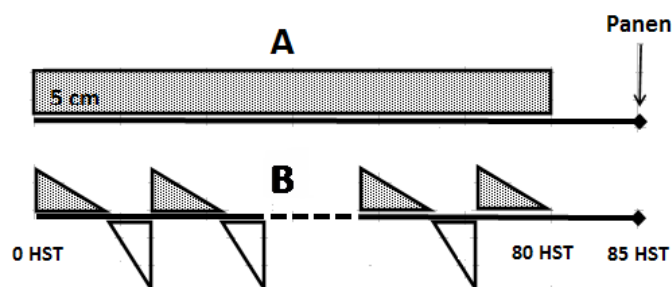
Untuk meningkatkan efisiensi pupuk N dan mengurangi emisi N_2O ke atmosfer dapat dilakukan melalui pengurangan jumlah N yang hilang baik karena pencucian nitrat maupun emisi N_2O . Atau dengan kata lain perlu mempertahankan nitrogen dalam bentuk NH_4^+ dengan menggunakan bahan penghambat nitrifikasi (*nitrification inhibitor*) agar proses nitrifikasi dan denitrifikasi dapat ditekan. Selain dapat mempertahankan N dalam bentuk NH_4^+ , penghambat nitrifikasi juga diduga dapat menurunkan emisi gas N_2O dan CH_4 dari tanah sawah.

Bertitik tolak dari pemikiran di atas, penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pengairan, pemupukan, dan penghambat

nitrifikasi terhadap emisi gas rumah kaca di lahan sawah tanah mineral.

METODOLOGI

Percobaan lapang dilaksanakan di Kebun Percobaan Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Jakenan pada MK 2011. Percobaan menggunakan rancangan petak terbagi dalam rancangan acak kelompok dan ulangan 3 kali. Petak utama adalah sistem pengairan yang terdiri dari pengairan terus-menerus (I1) dan pengairan terputus (I2), sedangkan anak petak adalah pemberian pupuk NPK dengan dosis berdasarkan hasil uji tanah, yaitu 250 kg/ha urea, 100 kg/ha SP36 dan 100 kg/ha KCl (100% NPK). Pada perlakuan I1, tinggi muka air dipertahankan sekitar 5 cm di atas permukaan tanah dari 0-80 Hari Setelah Tanam (HST), sedangkan perlakuan I2, petak percobaan diairi setinggi 5 cm, dibiarkan hingga macak-macak, lalu diairi lagi setelah dibiarkan seminggu lagi setelah macak-macak atau saat permukaan air sekitar 10 cm di bawah permukaan tanah. Demikian seterusnya diulang hingga tanaman berumur 80 HST. Anak petak terdiri dari 6 perlakuan, yaitu: P1 = kontrol, P2 = NPK 25%, P3 = NPK 50%, P4 = NPK 75%, P5 = NPK 100% dan P6 = NPK 100% + NI (*nitrification inhibitor*). Dosis NI ditentukan berdasarkan hasil penelitian Susilawati et al (5), yaitu 30 ppm atau 120 kg/ha NI dari gulma babadotan.



Gambar 1. Perlakuan pengairan terus-menerus (A) dan terputus (B)

Bibit padi varietas Inpari 13 (umur 21 hari) ditanam pada petak percobaan berukuran 6 m x 5 m dengan jarak tanam 20 cm x 20 cm. Pengairan dilakukan seperti perlakuan yang telah ditentukan. Aplikasi pemupukan sesuai perlakuan dilakukan sehari sebelum tanam (*transplanting*) dengan cara menyebar pupuk di setiap petak percobaan hingga merata lalu pupuk dibenamkan ke dalam tanah. Pupuk urea dan KCl diberikan 3 kali, masing-masing 1/3 bagian pada saat sebelum tanam, 1/3 bagian saat tanaman berumur 30 HST, dan sisanya saat tanaman berumur 45 HST. Pupuk lainnya dan NI diberikan seluruhnya pada saat sebelum tanam. Selanjutnya tanaman dipelihara, disiangi, dan disemprot pestisida bila diperlukan. Tanaman dipanen saat matang fisiologis atau tanaman berumur 85 HST.

Pengamatan dan pengukuran dilakukan seminggu sekali terhadap flux CO_2 , CH_4 , dan N_2O . Demikian pula Eh dan pH tanah setiap petak percobaan diukur seminggu sekali bersamaan dengan pengamatan gas rumah kaca. Selanjutnya berat gabah kering panen setiap petak percobaan diamati saat tanaman berumur 85 HST.

Pengambilan sampel GRK dilakukan dengan metode *close chamber technique* yang diadopsi dari IAEA⁶. Pengambilan contoh gas CH_4 menggunakan sungkup berukuran 50 cm x 50 cm x 103 cm, sedangkan contoh gas CO_2 dan N_2O menggunakan sungkup berukuran 40 cm x 20 cm x 20 cm. Interval waktu yang digunakan dalam pengambilan contoh gas adalah 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 menit untuk gas CH_4 dan CO_2 serta 5, 10, 15, 20 menit untuk gas N_2O . Contoh gas dari sungkup diambil dengan menggunakan *syringe* volume 10 ml. Selanjutnya contoh GRK dalam *syringe*

segera dibawa ke laboratorium GRK untuk pengukuran emisinya.

Emisi GRK (CO_2 , CH_4 dan N_2O) diukur secara manual dengan metode kromatografi gas (*gas chromatography*) dengan mengukur konsentrasi gas dalam *syringe*. Konsentrasi gas CH_4 diukur dengan menggunakan GC Shimadzu 8A yang dilengkapi detektor FID (*Flame Ionisation Detector*). Sementara itu konsentrasi gas CO_2 dan N_2O diukur dengan menggunakan GC Shimadzu 14A yang dilengkapi detektor ECD (*electron capture detector*) dan TCD (*thermal conductivity detector*). Selanjutnya emisi gas-gas tersebut dihitung dengan menggunakan rumus:

$$E = \frac{dc}{dt} \times \frac{V_{ch}}{A_{ch}} \times \frac{mW}{mV} \times \frac{273,2}{(273,2 + T)}$$

dimana:

- E : Emisi gas $\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{N}_2\text{O}$ ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{hari}$)
- dc/dt : Perbedaan konsentrasi $\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{N}_2\text{O}$ per waktu (ppm/menit)
- V_{ch} : Volume boks (m^3)
- A_{ch} : Luas boks (m^2)
- mW : Berat molekul $\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{N}_2\text{O}$ (g)
- mV : Volume molekul $\text{CH}_4/\text{CO}_2/\text{N}_2\text{O}$ (22,41 l)
- T : Temperatur rata-rata selama pengambilan contoh gas ($^{\circ}\text{C}$)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fluks CH_4

Fluks CH_4 dan potensial redoks pada perlakuan pengairan terus menerus dan pengairan terputus masing-masing disajikan pada Gambar 2a dan 2b. Pengairan terus-menerus menghasilkan fluks CH_4 yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengairan terputus. Nilai fluks dari pengairan terus-menerus hampir mencapai 350 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{hari}$, sedangkan rata-rata fluks pada pengairan terputus di bawah 200 $\text{mg}/\text{m}^2/\text{hari}$. Pada perlakuan pengairan terus menerus, fluks

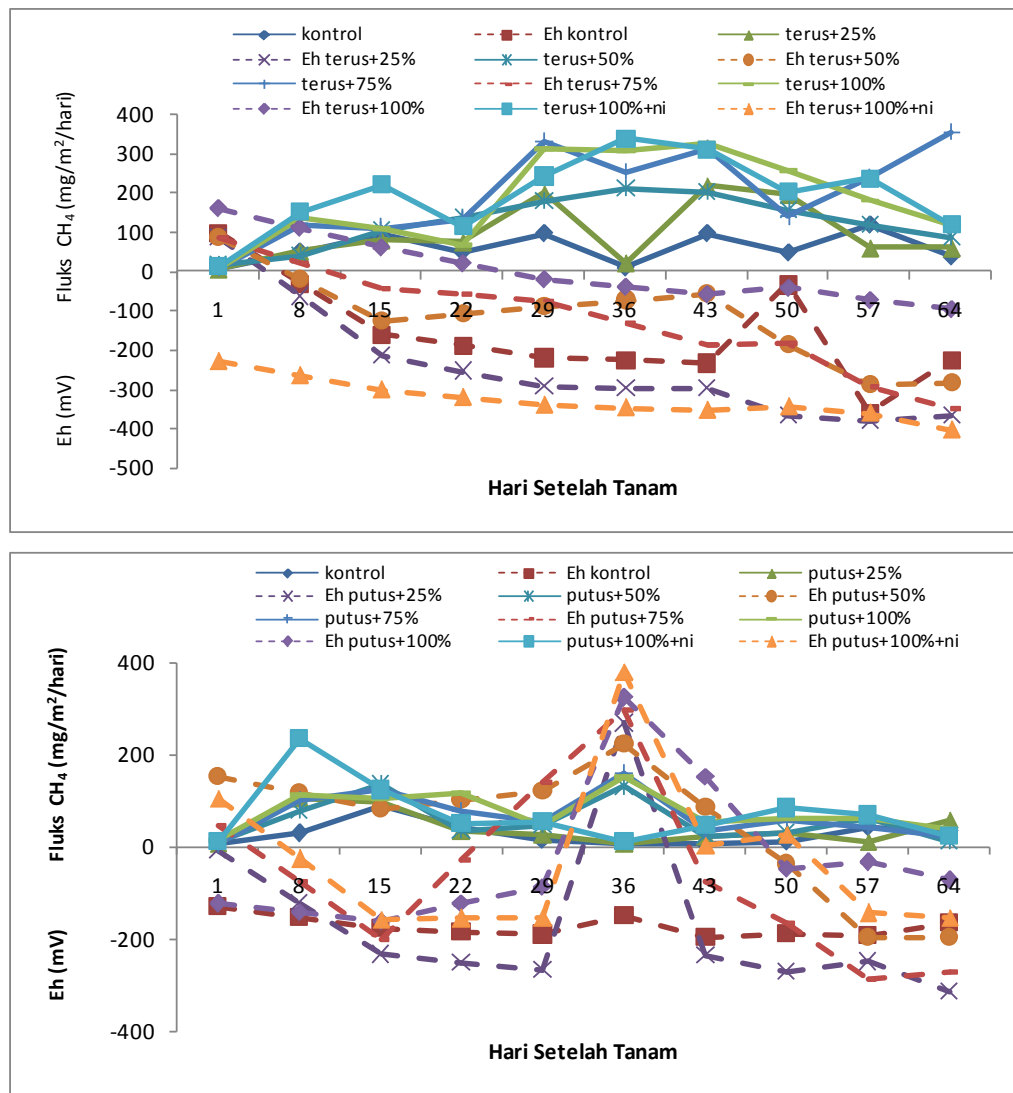
CH_4 memberikan tendensi meningkat seiring dengan lamanya waktu penggenangan. Semua perlakuan pemupukan memberikan fluks CH_4 yang lebih tinggi dibandingkan kontrol. Pada perlakuan pengairan terputus, fluks CH_4 meningkat hingga tanaman berumur 7 HST dan menurun hingga tanaman berumur 64 HST. Selanjutnya fluks CH_4 pada semua perlakuan pemupukan lebih tinggi dibandingkan kontrol. Potensial redoks di awal pengamatan umumnya bernilai positif (85-160 mV) baik pada perlakuan pengairan terus-menerus maupun pada pengairan terputus. Seiring dengan bertambahnya waktu penggenangan, potensial redoks pada pengairan terus-menerus memberikan tendensi menurun (meskipun berfluktuasi) dan sejak umur tanaman 8 hingga 64 HST, potensial redoks bernilai negatif. Demikian pula pada pengairan terputus, potensial redoks menurun dan sejak umur tanaman 8 – 29 HST potensial redoks bernilai negatif. Namun demikian setelah itu potensial redoks meningkat dan mencapai puncaknya saat tanaman berumur 36 HST (224 – 380 mV), lalu menurun lagi dan bernilai negatif lagi hingga umur tanaman 64 HST.

Perlakuan pengairan sangat berpengaruh terhadap produksi CH_4 karena pengairan berpengaruh langsung terhadap potensial redok tanah. Kondisi tergenang (*anaerob*) sangat ideal bagi aktivitas dan perkembangan bakteri pembentuk CH_4 (*metanogenic microbe*). Menurut Minamikawa dan Sakai⁷, pada kondisi tanah reduktif dengan potensial redoks -150 sampai -200 mV, gas CH_4 akan terbentuk maksimal. Pada kisaran potensial redoks tersebut bakteri pembentuk CH_4 aktif melakukan metabolismenya sehingga pembentukan gas CH_4 juga berlangsung

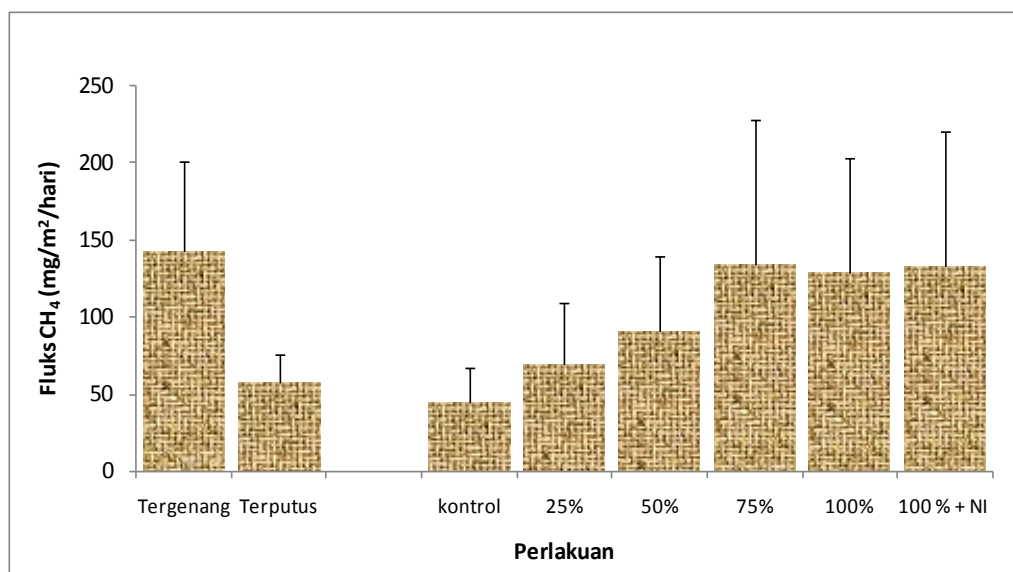
cepat. Hal sebaliknya terjadi pada kondisi kering (*aerob*), di mana bila ketersediaan oksigen berlimpah, maka aktivitas bakteri metanogen terhambat sehingga proses pembentukan gas CH_4 juga terbatas. Hal inilah yang menyebabkan fluks CH_4 pada perlakuan pengairan terus menerus lebih tinggi dibandingkan pengairan terputus.

Emisi GRK terutama CH_4 dan N_2O berkaitan erat dengan kondisi reduksi-oksidasi tanah dimana kondisi ini tercipta karena adanya periode tergenang dan kering. Menurut Sandin⁸, pengairan berselang (*intermittent irrigation*) merupakan salah satu cara yang tepat untuk menurunkan emisi CH_4 . Hasil penelitian yang telah dilakukan di lahan sawah di Hanoi, Vietnam menunjukkan bahwa emisi CH_4 tertinggi dihasilkan dari lahan sawah yang diairi setinggi 5 cm dan emisi terendah berasal dari perlakuan irigasi berselang.

Gambar 3 menunjukkan bahwa rata-rata fluks CH_4 pada perlakuan pengairan terus-menerus (tergenang) jauh lebih tinggi dibandingkan perlakuan pengairan terputus. Pemupukan NPK meningkatkan rata-rata fluks CH_4 , sedangkan penggunaan NI tidak berpengaruh nyata terhadap rata-rata fluks CH_4 . Pemberian pupuk dapat meningkatkan aktivitas metabolisme tanaman sehingga produksi CH_4 juga meningkat. Penelitian Chu *et al.* (9) menunjukkan bahwa pemupukan N di tanah Andisol yang disawahkan di Jepang nyata meningkatkan emisi CH_4 . Demikian pula penelitiannya lainnya di lahan sawah di daerah tropika menunjukkan bahwa pemberian pupuk urea dan kompos jerami padi nyata meningkatkan emisi CH_4 , yaitu fluks CH_4 meningkat masing-masing sebesar 75 dan 66%, Bhattacharyya *et al.*¹⁰.



Gambar 2. Fluks CH_4 dan potensial redoks pada perlakuan pengairan terus menerus (a) dan pengairan terputus (b)



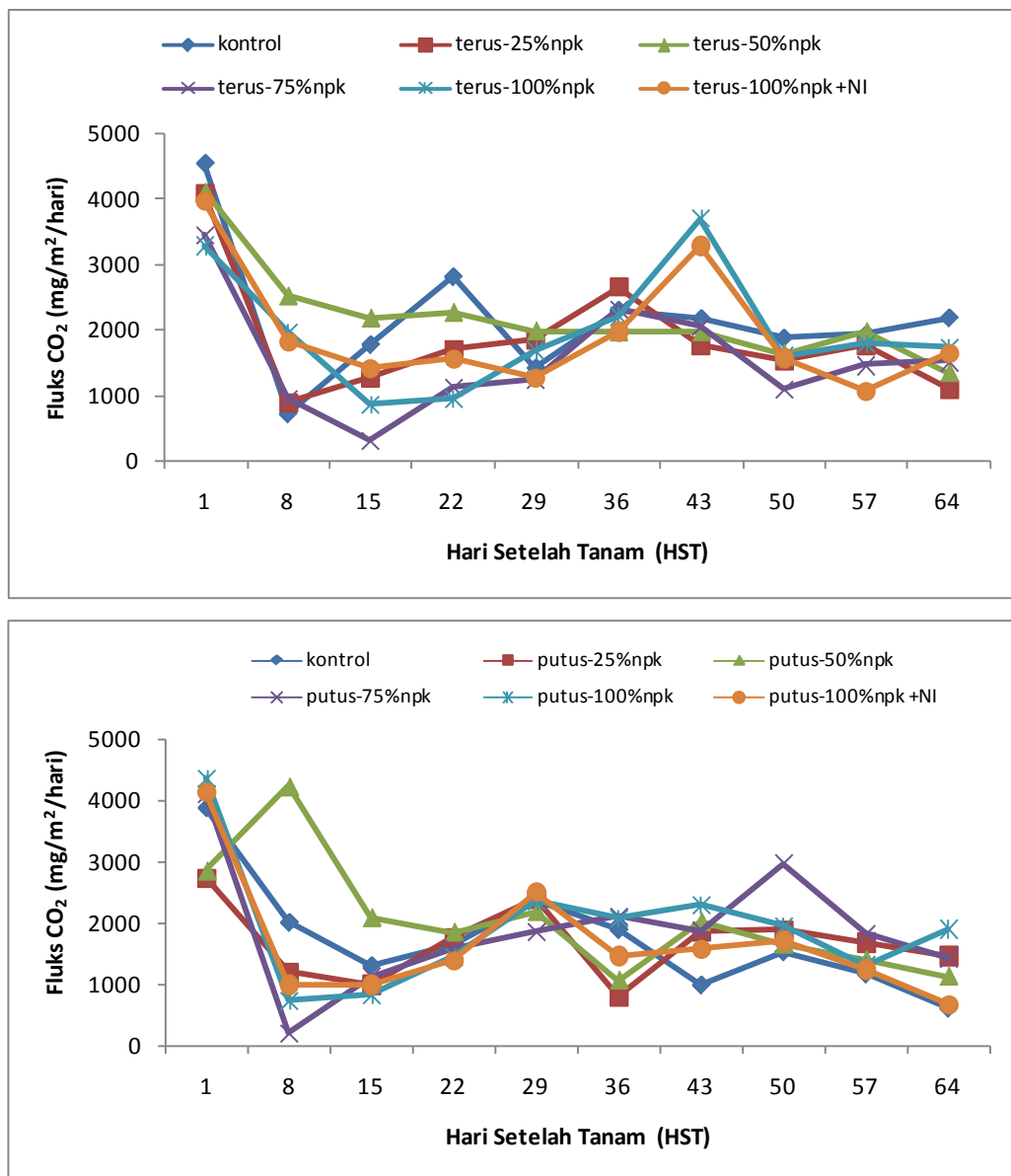
Gambar 3. Rata-rata fluks CH_4 pada perlakuan pengairan dan pemupukan

Fluks CO₂

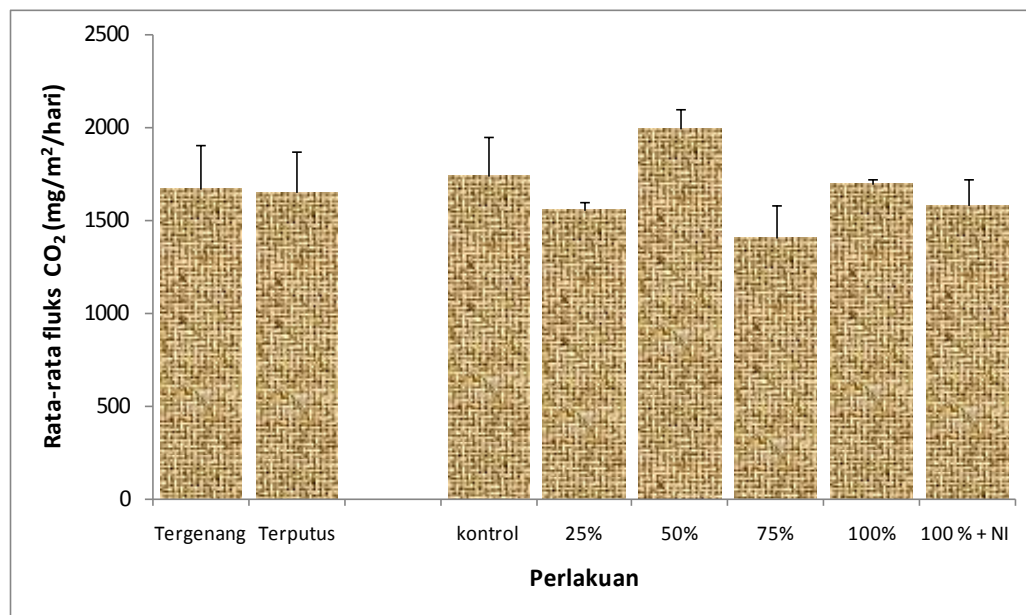
Gas CO₂ merupakan salah satu gas rumah kaca yang dihasilkan dari lahan pertanian. Aktivitas pertanian seperti pengolahan tanah dan pemupukan merupakan sumber pelepasan CO₂. Meskipun sebagai sumber CO₂, lahan pertanian juga dapat berfungsi sebagai penyerap CO₂ melalui aktivitas fotosintesis oleh tanaman.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh pemupukan pada perlakuan pengairan terus-menerus dan pengairan terputus masing-

masing disajikan pada Gambar 4a dan 4b. Gambar tersebut menunjukkan bahwa fluks CO₂ pada kedua perlakuan pengairan menunjukkan pola yang hampir sama, dimana pada awal pengukuran, fluks CO₂ tinggi, yaitu sekitar 4500 mg/m²/hari. Selanjutnya seiring dengan bertambahnya waktu pertumbuhan tanaman, fluks CO₂ menurun, berfluktuasi, dan relatif mendatar hingga akhir pengamatan. Perlakuan pemupukan dan pemberian NI tidak memperlihatkan tren yang jelas terhadap rata-rata fluks CO₂ (Gambar 5).



Gambar 4. Fluks CO₂ pada perlakuan pengairan terus-menerus (a) dan pengairan terputus (b)



Gambar 5. Rata-rata fluks CO₂ pada perlakuan pengairan, pemupukan, dan penggunaan NI

Pada awal pengukuran (1 HST) tanaman masih muda sehingga kemampuannya untuk menyerap CO₂ rendah, akibatnya fluks CO₂ tinggi. Tanaman mampu menangkap dan menyimpan CO₂ serta mengubahnya menjadi bentuk C organik. Tanaman mengkonsumsi CO₂ dalam jumlah yang banyak melalui proses fotosintesis untuk membuat makanan, serat dan bahan bakar, Synder *et al*². Variasi fluks CO₂ dipengaruhi oleh suhu tanah dan fase pertumbuhan tanaman padi. Fluks CO₂ maksimum terjadi pada saat fase keluarnya malai dan fase pembungaan. Fluks mulai meningkat setelah tanam pindah hingga memasuki fase keluarnya malai dan pembungaan dan kemudian menurun hingga fase pemasakan. Hal ini karena laju fotosintesis pada masa pemasakan tersebut turun, Iqbal *et al*¹¹.

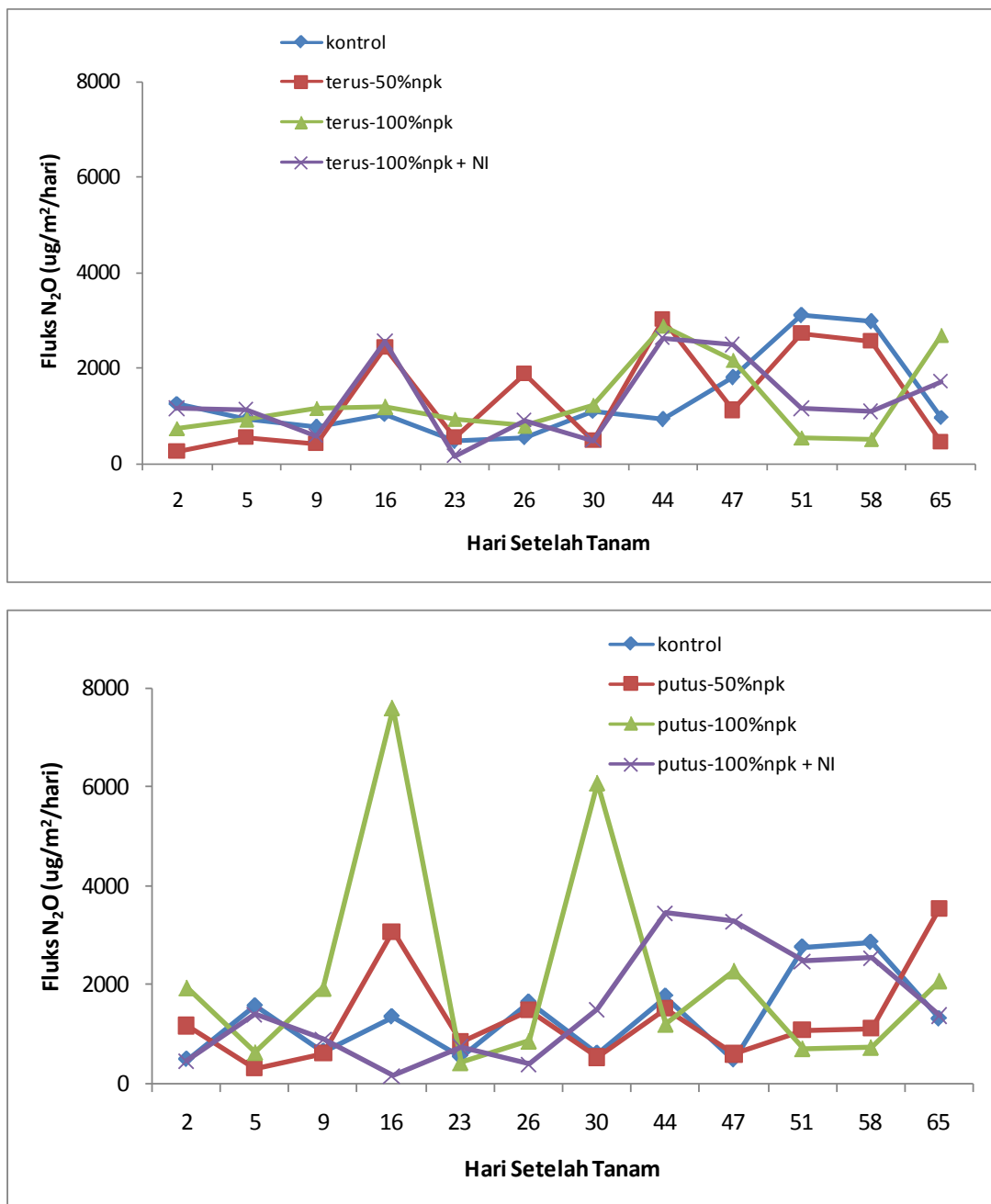
Pengaruh pemupukan terhadap fluks CO₂ bervariasi tergantung kondisi lingkungan. Penelitian Chu *et al* (9), menunjukkan bahwa

pemupukan N secara umum meningkatkan total emisi CO₂ pada tanaman barley. Hal ini disebabkan karena meningkatnya respirasi akar akibat meningkatnya pertumbuhan tanaman karena pemupukan N. Penelitian lainnya yang dilaksanakan oleh Serrano-Silva *et al* (12) di laboratorium juga menunjukkan bahwa penambahan urea secara signifikan meningkatkan emisi CO₂. Penambahan urea juga dapat memicu meningkatkan emisi CO₂ akibat aktivitas mikroba tanah meningkat. Selain itu, hidrolisis urea juga menghasilkan CO₂. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengaruh pemupukan terhadap emisi CO₂ tidak konsisten (Gambar 5). Konsentrasi CO₂ yang terukur sesungguhnya merupakan keseimbangan antara emisi CO₂ dari respirasi dan absorpsi CO₂ oleh daun. Pemupukan dapat meningkatkan respirasi tanaman, tapi pada saat yang sama juga meningkatkan fotosintesis. Bila emisi meningkat itu berarti proses respirasi lebih cepat daripada proses fotosintesis dan sebaliknya.

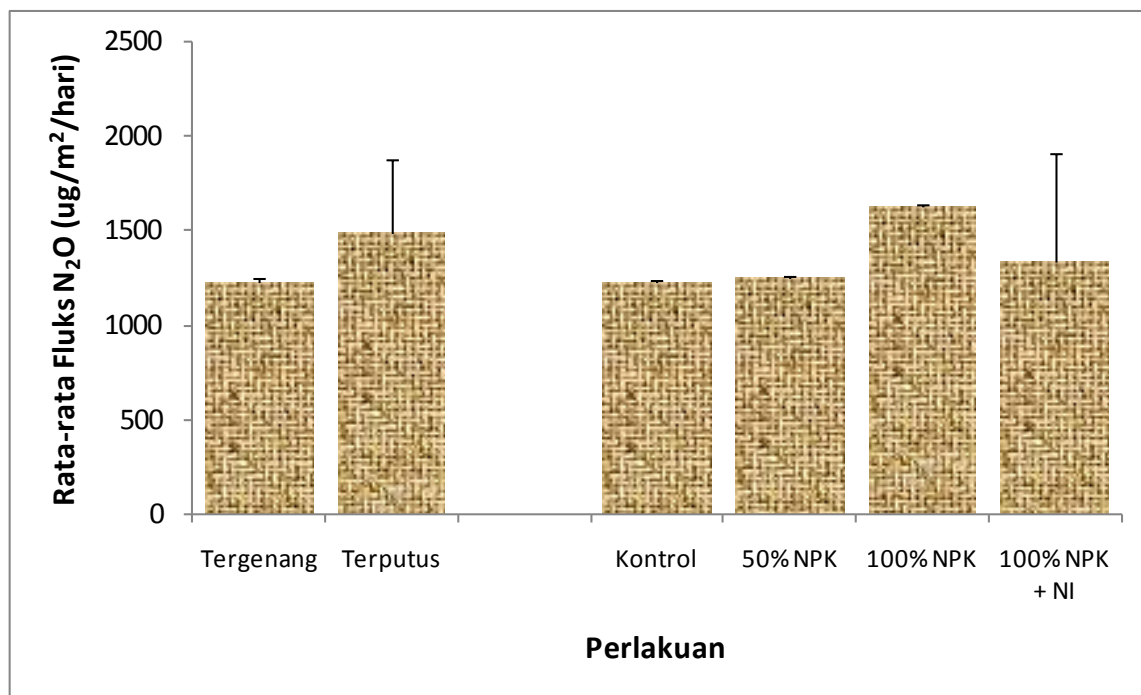
FLUKS N_2O

Pengairan terputus menghasilkan fluks N_2O ($1492 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hari}$) lebih tinggi sekitar 9% dibandingkan pengairan terus-menerus ($1374 \mu\text{g}/\text{m}^2/\text{hari}$). Pola pemberian air pada pengairan terputus adalah digenangi di awal tanam, dibiarkan hingga macak-macak, lalu dibiarkan lagi selama seminggu. Pola ini

dilakukan berulang-ulang sampai satu minggu menjelang panen, air dikeringkan. Kondisi basah (tergenang) dan kering secara bergantian sangat memungkinkan untuk terbentuknya N_2O . Menurut Zheng-Qin *et al.*¹³, kondisi tergenang merupakan kondisi yang sesuai untuk pembentukan CH_4 (*source*) dan sebagai rosot (*sink*) bagi gas N_2O .



Gambar 6. Fluks N_2O pada perlakuan pengairan dan pemupukan



Gambar 7. Rata-rata fluks N₂O pada perlakuan pengairan dan pemupukan

Menurut Wang *et al.*₁₄ juga menyatakan bahwa kondisi tanah dengan pengairan tergenang-kering secara bergantian akan menciptakan kondisi lingkungan yang sesuai bagi bakteri nitrifikasi dan denitrifikasi untuk meningkatkan metabolismenya sehingga membentuk N₂O. Huang *et al.* (15) menyatakan bahwa pada kondisi pengairan terputus penambahan air yang kedua dan ketiga menghasilkan emisi N₂O yang tinggi. Hal ini disebabkan karena siklus aerobik-anaerobik memicu nitrifikasi amonia dan denitrifikasi nitrat yang menghasilkan emisi N₂O.

Gambar 7 menunjukkan bahwa pengaruh pemupukan NPK terhadap rata-rata fluks N₂O bervariasi, namun pemberian NPK 100% ternyata menghasilkan rata-rata fluks N₂O tertinggi, yaitu sebesar 1629 µg/m²/hari atau 24 % lebih tinggi dibandingkan kontrol. Fuß *et al.* (16) melaporkan bahwa faktor yang sangat dominan dalam pelepasan emisi N₂O adalah pemupukan. Rata-rata fluks N₂O meningkat

dua kali lipat pada penggunaan pemupukan dengan dosis tinggi dibandingkan pemupukan dosis rendah. Selanjutnya emisi N₂O per hasil panen pada perlakuan dosis pupuk tinggi lebih tinggi 76-89% dibandingkan dosis pupuk rendah.

Rata-rata fluks N₂O terlihat menurun akibat penambahan NI, nilainya sebesar 1338 µg/m²/hari atau turun sekitar 18% dibandingkan perlakuan NPK 100% (Gambar 7). Penelitian Wihardjaka (17) juga menunjukkan bahwa pemberian bahan penghambat nitrifikasi nyata menghasilkan emisi N₂O lebih rendah dibandingkan tanpa pemberian bahan tersebut. Bahan penghambat nitrifikasi dapat menurunkan populasi bakteri denitrifikasi. Pada kondisi anaerob proses denitrifikasi berlangsung dan bila diikuti oleh kondisi aerob maka akan terjadi pembentukan serta pelepasan gas N₂O dari tanah. Penelitian lainnya yang dilaksanakan oleh Suter (18) pada tanah bertekstur berat menunjukkan bahwa

penggunaan nitrifikasi inhibitor kimiawi seperti *3,4-dimethylpyrazole phosphate* (DMPP) dapat mengurangi emisi N_2O > 93%.

INDEKS EMISI

Total emisi, potensi pemanasan global (GWP), hasil padi, dan indeks emisi masing-masing perlakuan ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai GWP dari gas CH_4 , CO_2 , dan N_2O masing-masing 23, 1, dan 298 CO_2 -eq. Total emisi CH_4 pada pengairan terus-menerus (139 kg/ha/musim) jauh lebih tinggi dibandingkan perlakuan pengairan terputus (55 kg/ha/musim) atau turun sekitar 60% sehingga GWP-nya juga lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian Khosa *et al* (19) yang melaporkan bahwa emisi CH_4 pada pengairan terus-menerus signifikan lebih tinggi daripada sistem pengairan yang lainnya. Penggunaan sistem pengairan lain selain pengairan terus-menerus seperti pengairan terputus mampu menekan total fluks CH_4 musiman sebesar 37 – 70%. Penggunaan pengairan terus-menerus yang kemudian diselingi dengan pengeringan mampu mengurangi fluks CH_4 musiman sekitar 50%. Penelitian lainnya yang dilaksanakan oleh Itoh *et al* (20) juga menunjukkan bahwa penerapan periode pengeringan di lahan sawah mampu menekan emisi CH_4 dan net GWP (CH_4 dan N_2O) masing-masing sampai 69.5 % dan 72 % serta mampu mempertahankan hasil panen 96.2 % dibandingkan dengan cara pengairan terus-menerus.

Pemberian pupuk NPK sampai dengan 100% meningkatkan emisi CH_4 dari 43 menjadi 125 kg/ha/musim atau meningkat sekitar 181%, tetapi pemberian NI relatif tidak berpengaruh terhadap emisi CH_4 . Demikian pula pemberian

NPK 100% dapat meningkatkan emisi N_2O dari 1,20 menjadi 1,58 kg/ha/musim atau meningkat sekitar 24%, tetapi emisinya menurun lagi menjadi 1,30 kg/ha/musim akibat penambahan NI atau turun sekitar 18% (Tabel 1). Penelitian Majundar (21) juga menunjukkan bahwa pemberian urea menghasilkan emisi N_2O lebih tinggi daripada kontrol ataupun perlakuan NI (*Dicyandiamide* = DCD dan Karanjin). *Dicyandiamide* merupakan bahan sintetik yang banyak digunakan sebagai NI sedangkan Karanjin adalah *furano flavonoid* yang diperoleh dari benih Karanja (*Pongamia glabra* Vent.). Penggunaan urea (100 mg/kg tanah) + karanjin 25% mampu menurunkan emisi N_2O sebesar 86% dibandingkan dengan penggunaan urea saja. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Sanz-Cobena (22) juga menunjukkan bahwa penggunaan NI dari *n-butyl thiophosphoric triamide* (NBPT) dan kombinasinya dengan DCD pada pertanaman jagung ternyata mampu mengurangi emisi N_2O berturut-turut sebesar 54 dan 24 %.

Selain dapat menurunkan emisi N_2O , NI juga mampu menurunkan emisi CH_4 . Percobaan laboratorium yang dilakukan oleh Mohanty *et al* (23) dan menggunakan herbisida butaklor (*N-butoxymethyl-2-chloro-20,60-diethyl acetanilide*) sebagai NI pada tanah Aluvial dapat menekan produksi CH_4 karena NI tersebut dapat menahan menurunnya potensial redoks. Penggunaan butaklor 100 $\mu g\ g^{-1}$ tanah mampu menekan produksi CH_4 sebesar 98 % dibandingkan dengan kontrol.

Hasil gabah dari pengairan terus-menerus tidak berbeda nyata dengan pengairan terputus. Hasil gabah meningkat seiring dengan meningkatnya dosis pupuk NPK. Hasil

Tabel 1. Total emisi GRK, *Global Warming Potensial* (GWP), hasil gabah, dan indeks emisi pada perlakuan pengairan dan pemupukan

Perlakuan	Total Emisi			GWP (kg CO ₂ -eq/ha/ musim)	Hasil gabah (t/ha)	Indeks Emisi (t gabah/ kg CO ₂ -eq)
	CH ₄	CO ₂	N ₂ O			
	----kg/ha/musim----					
Faktor Pengairan						
Terus-menerus	139 a	1619 a	1,33 a	5628	3,94 a	0,70
Terputus	55 b	1606 a	1,45 a	3472	3,67 a	1,06
Faktor Pemupukan						
Kontrol	43 b	1684 a	1,20 ab	3164	2,23 e	0,71
NPK 25%	67 b	1512 a	-	-	3,01 d	-
NPK 50%	88 ab	1932 a	1,21 ab	4585	3,65 c	0,80
NPK 75%	130 a	1366 a	-	-	4,38 b	-
NPK 100%	125 a	1647 a	1,58 a	5371	4,81 a	0,89
NPK 100% + NI	129 a	1536 a	1,30 a	5268	4,75 a	0,90

gabah tertinggi dihasilkan pada pemberian 100% pupuk NPK, yaitu 4,81 t/ha atau meningkat sekitar 116%. Namun hasil ini tidak berbeda nyata dengan pemberian 100% NPK + NI, yaitu 4,75 t/ha (Tabel 1). Dong *et al* (24) melaporkan bahwa sistem pengairan terputus mendorong mineralisasi N dan nitrifikasi potensial pada permukaan tanah tapi tidak berpengaruh pada serapan N tanaman sehingga biomas atau pun hasil panen tidak meningkat. Sementara itu pupuk NPK merupakan sumber hara N, P, dan K yang diperlukan tanaman untuk pertumbuhan dan perkembangannya sehingga pemberian pupuk NPK dapat meningkatkan hasil padi.

Pengairan terputus menghasilkan indeks emisi yang lebih tinggi (1,06) sekitar 34% dibandingkan pengairan terus-menerus (0,70). Ini berarti bahwa pada pengairan terputus, setiap 1,06 t gabah menghasilkan 1 kg CO₂-eq sedangkan pada pengairan terus-menerus setiap 0,70 t gabah menghasilkan 1 kg CO₂-eq. Pemupukan NPK meningkatkan

indeks emisi dari 0,71 menjadi 0,89 atau meningkat sekitar 24%. Selanjutnya diantara perlakuan pemupukan ternyata NPK 100%+NI menghasilkan indeks emisi tertinggi, yaitu 0,90 jauh lebih tinggi dibandingkan kontrol yang hanya 0,71 atau meningkat sekitar 28 % (Tabel 1). Berdasarkan data tersebut maka pengairan terputus yang dikombinasikan dengan NPK 100%+NI merupakan teknologi mitigasi terbaik dalam meningkatkan hasil padi dan menurunkan emisi GRK di lahan sawah.

KESIMPULAN

1. Pengairan terputus mampu menekan emisi CH₄ sebesar 60% sehingga GWP juga menurun, tidak berpengaruh nyata terhadap hasil gabah, dan meningkatkan indeks emisi 34%.
2. Pemupukan NPK meningkatkan emisi CH₄ 181% dan N₂O 24 %, meningkatkan hasil gabah 116%, dan indeks emisi 29%. Penggunaan NI menurunkan emisi

N₂O 18%, tidak berpengaruh nyata terhadap hasil gabah, dan meningkatkan indeks emisi 28 %.

3. Berdasarkan data tersebut maka pengairan terputus yang dikombinasikan dengan NPK 100%+NI merupakan teknologi mitigasi terbaik dalam meningkatkan hasil padi dan menurunkan emisi GRK di lahan sawah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Dr. A. Wihardjaka, Ali Pramono, SP., M.Si, Helena Lina Susilawati, S.Si, Titi Sopiawati, SP, Anggri Hervani, SP, Eni Yulianingsih, SP, MP, Sri Wahyuni, Yarpani, Jumari, Suyoto dan Santo atas kerja sama dan sarannya dalam penelitian ini.

5. DAFTAR PUSTAKA

- (1). Martin, L. S., Meijide, A., Garcia-Torres, L., Vallejo. Combination of drip irrigation and organic fertilizer for mitigating emissions of nitrogen oxides in semiarid climate. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 2010. 137:99-107
- (2). Snyder, C.S., Bruulsema, T.W., Jensen, T.L., Fixen, P.E., 2009. Review of Greenhouse gas Emissions from crop production system and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 133: 247-266
- (3). Havlin, J.L., J.D. Beaton, S.L. Tisdale, W.L. Nelson. 1999. *Soil Fertility and Fertilizers. An Introduction to Nutrient Management*. 6th Ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. Pp. 497.
- (4). Fageria, N.K. 2009. *The Use of Nutrients in Crop Plants*. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton. Pp 430.
- (5). Susilawati, H.L., R. Kartikawati, P. Setyanto, M. Ariani dan M. Teddy Sutriadi. 2010. Neraca karbon dan teknologi reduksi gas rumah kaca > 20 % pada pengelolaan tanaman pangan di lahan gambut mendukung mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Laporan Akhir Tahun 2010. Balai Penelitian Lingkungan Pertanian, Badan Litbang Pertanian.
- (6). IAEA (International Atomic Energy Agency). 1993. *Manual on measurement of methane and nitrous oxide emission from agricultural*. Vienna. IAEA.
- (7). Minamikawa, K and Naoki Sakai. 2005. The effect of water management based on soil redox potential on methane emission from two kinds of paddy soils in Japan. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 107 : 397-407.
- (8). Sandin, Sara. 2005. Present and future methane emissions from rice fields in Dong NgaC Commune, Hanoi, Vietnam. *Departement of Physical Geography, Göteborg*.
- (9). Chu H., Yasukazu Hosen and Kazuyuki Yagi. 2007. NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes in winter barley field of Japanese Andisol as affected by N fertilizer management. *Soil Biology & Biochemistry* 39 : 330-339
- (10). Bhattacharyya, P., K.S. Roy, S. Neogi, T.K. Ahya, K.S. Rao and M.C. Manna. 2012. Effects of rice straw and nitrogen fertilization on greenhouse gas emissions and carbon storage in tropical flooded soil planted with rice. *Soil and Tillage Research*. 124 : 119-130.

- (11). Iqbal, Javed., Ronggui Hu, Shan Lin, Ryusuke Hatano, Minglei Feng, Lan Lu, Bocar Ahamadou and Lijun Du. 2009. CO₂ emission in a subtropical red paddy soil (ultisol) as affected by straw and N-fertilizer application. A case study in Southern China. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 131 : 292-302.
- (12). Serrano-Silva, N., Marco Luna-Guido, Fabián Fernández-Luqueño, Rodolfo Marsch and Luc Dendooven. 2011. Emission of greenhouse gases from an agricultural soil amended with urea : A laboratory study. *Applied Soil Ecology*. 47 : 92-97.
- (13). Zheng-Qin, Xiong., Xing Guang-Xi and Zhu Zhao-Liang. 2007. Nitrous oxide and methane emissions as affected by water, soil and nitrogen.
- (14). Wang, J.Y., J.X. Jia., Z.Q. Xiong., M.A.K. Khalil and G.X. Xing. 2011. Water regime-nitrogen fertilizer-straw incorporation interaction : Field study on nitrous oxide emissions from a rice agroecosystem in Nanjing, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 141 : 437-446.
- (15). Huang, S., Hari K. Pant and Jun Lu. 2007. Effect of water regimes on nitrous oxide emission from soils. *Ecological Engineering* (31) : 9-15.
- (16). Fuß, Roland., Bernhard Ruth, Rolf Schilling, Hagen Scherb and Jean Charles Munch. 2011. Pulse emission of N₂O and CO₂ from an arable field depending on fertilization and tillage practice. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 144 : 61-68.
- (17). Wihardjaka, A. 2010. Emisi gas dinitrogen oksida dari tanah sawah tadah hujan yang diberi jerami padi dan bahan penghambat nitrifikasi. *Jurnal Biologi Indonesia Nomor 6 (2)* : 211-224.
- (18). Suter, Helen. Deli Chen, Huilin Li, Robert Edis and Charlie Walker. 2010. Reducing N₂O emissions from nitrogen fertilisers with the nitrification inhibitor DMPP. 19th World congress of soil science, soil solutions for a changing world. 1-6 August 2010. Brisbane, Australia.
- (19). Khosa, M.K., B.S Sidu and D.K Benbi. 2011. Methane emission from rice fields in relation to management of irrigation water. *J. Environ. Biol.* 32 : 169-172.
- (20). Itoh, Masayuki., Shigeto Sudo, Shizuka Mori, Hiroshi Saito, Takahiro Yoshida, Yutaka Shiratori, Shinobu Suga, Nanako Yoshikawa, Yasufumi Suzue, Hiroyuki Mizukami, Toshiyuki Mochida and Kazuyuki Yagi. 2011. Mitigation of methane emissions from paddy fields by prolonging midseason drainage. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 141 : 359– 372.
- (21). Majundar, D. 2002. Suppression of nitrification and N₂O emission by karanjin – a nitrification inhibitor prepared from karanja (*Pongamia glabra* Vent). *Chemosphere* 47: 845-850.
- (22). Sanz-Cobena, Alberto., Laura Sánchez-Martín, Lourdes García-Torres and Antonio Vallejo. 2012. Gaseous emissions of N₂O and NO and NO₃-leaching from urea applied with urease and nitrification inhibitor to maize (*Zea mays*) crop. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 149 : 64-73.
- (23). Mohanty, S.R., D.R. Nayak, Y.J. Babu and T.K. Adhya. 2004. Butachlor inhibits production and oxidation of methane in tropical rice soils under flooded condition. *Microbiological Research* 159: 193–201.

- (24). Dong, Nguyen Minh., Kristian K. Brandt, Jan Sørensen, Ngo Ngoc Hung, Chu Van Hach, Pham Sy Tan and Tage Dalsgaard. 2012. Effects of altering wetting and drying versus continuous flooding on fertilizer nitrogen fate in rice fields in the Mekong Delta, Vietnam. *Soil Biology and Biochemistry*. 47 : 166-174.